

Persistencia del herbicida imazapir en el suelo y efectos fitotóxicos sobre cultivos de invierno y de verano

GIANELLI, V. ¹ ; BEDMAR, F. ²; y MONTERUBBIANESI, M.G.²

RESUMEN

Imazapir es un herbicida de amplio espectro de control, perteneciente al grupo químico de las imidazolinonas. En Argentina es aplicado a gran escala en los cultivos de girasol y maíz *Clearfield*. Debido a su acción residual en el suelo, resulta de gran importancia determinar su persistencia fitotóxica. El objetivo de este trabajo fue determinar la persistencia fitotóxica sobre cultivos de invierno y de verano, de dos dosis de imazapir aplicado en un cultivo de girasol *Clearfield*. El ensayo se realizó en un suelo franco-arcilloso de Balcarce (Pcia. de Buenos Aires), siguiendo un diseño experimental en bloques completos aleatorizados con cuatro repeticiones. Los tratamientos consistieron en la aplicación de imazapir en dosis de 80 y 160 g de ingrediente activo (i.a)/ha, incluyéndose un testigo sin tratar. Luego de la cosecha del girasol (marzo de 2003), se obtuvieron muestras de suelo mensualmente. Posteriormente, se efectuó un bioensayo en cámara de crecimiento con trigo, colza, girasol y maíz no tolerantes. Paralelamente, se sembró a campo maíz y girasol no tolerantes a imidazolinonas y papa, determinándose el rendimiento. Los resultados fueron analizados mediante un análisis de la varianza ($p = 0.05$). La persistencia fitotóxica en el bioensayo siguió el orden trigo > colza > girasol = maíz. A campo, ninguno de los cultivos evaluados mostró efectos negativos, indicando que no existió efecto residual sobre ellos.

Palabras clave: imidazolinonas, bioensayo, residualidad, clearfield.

ABSTRACT

Imazapyr is an herbicide with broad-spectrum of control, belonging to the imidazolinone chemical family. In Argentina it is used on imidazolinone-tolerant corn and sunflower (Clearfield). Because of imazapyr possess high activity in soil, is very important to determine its persistence. The objective of this study was to determine the phytotoxic persistence of two doses of imazapyr applied on Clearfield sunflower, through of its phytotoxic effect on winter and summer crops. The experiment was performed in a clay loam soil of Balcarce (Bs.As. province). Treatments were arranged in a completely randomized design with four replications. Treatments consisted in spraying of imazapyr at 80 and 160 g of active ingredient (a.i)/ha, including a non-treated control. After sunflower harvest (march 2003), monthly samples of soil were collected. At the end of sampling, a bioassay with wheat, canola and non-tolerant sunflower and corn was done. Besides the bioassays, non-tolerant to imidazolinones corn, sunflower and potato were seeded on the field, and their yield was measured. Data were subjected to analysis of variance ($p = 0.5$). The phytotoxic persistence period followed the order wheat > canola > corn = sunflower. At field, no crop showed negative effect to the application of imazapyr, indicating no residual effect of imazapyr on them.

Key words: imidazolinone, bioassay, carryover, Clearfield.

1 Estación Experimental Agropecuaria, Balcarce. Ruta 226 Km 73,5. Balcarce. Correo electrónico: vgianelli@balcarce.inta.gov.ar

2 Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata. Correo electrónico: fbedmar@balcarce.inta.gov.ar

Recibido 03 de septiembre// Aceptado 26 de noviembre// Publicado online 15 de diciembre

INTRODUCCIÓN

La persistencia de un herbicida en el suelo puede definirse como el período de tiempo durante el cual permanece en forma activa en el mismo (Comfort *et al.*, 1994). Este proceso es extremadamente importante debido a que determina la longitud de tiempo que se encuentra en el ambiente, el período en que pueden esperarse efectos fitotóxicos sobre las malezas y el tiempo que debería esperarse para evitar daños a los cultivos subsecuentes en la rotación (Ashton y Mónaco, 1991). La persistencia de un herbicida en el suelo está regulada por una serie de complejos procesos entre los que se cuentan la degradación (descomposición química, microbiana y fotodescomposición), la retención (adsorción por los coloides del suelo) y el transporte (lixiviación, volatilización, escurrimiento superficial y absorción por las plantas) (Hance and Holly, 1990). Asimismo, la persistencia es influenciada por las condiciones del suelo (textura, contenido de materia orgánica, nutrientes, cationes y pH), del ambiente (temperatura, humedad y luz solar) y del plaguicida (solubilidad en agua, coeficiente de partición en adsorción, presión de vapor y naturaleza química) (Ashton y Mónaco, 1991; Hager *et al.*, 2000).

Imazapir es un herbicida de amplio espectro de control, perteneciente a la familia química de las imidazolinonas. Actualmente, en Argentina este herbicida se aplica a gran escala en los cultivos de girasol y maíz, gracias al desarrollo de la tecnología *Clearfield*, la cual introdujo la resistencia genética de los híbridos de estos cultivos a los herbicidas imidazolinonas mediante un proceso de selección genética natural no transgénica. Según los antecedentes, imazapir no es fácilmente degradado en el suelo y puede ser muy persistente, dependiendo del tipo de suelo, condiciones ambientales y de la dosis de aplicación (Mangels, 1991). Los rangos de vida media en el suelo (tiempo requerido para que el 50% del plaguicida original aplicado se descomponga en otros productos) oscilan entre 25 y 142 días, siendo más corta en suelos arenosos y con temperaturas elevadas (Vencill, 2002; Tu *et al.*, 2004). La persistencia de imazapir en el suelo es afectada principalmente por la degradación microbiana, no habiendo sido reportados otros mecanismos de degradación (Tu *et al.*, 2004).

Debido a que imazapir posee prolongada persistencia en el suelo, podría ocasionar problemas de fitotoxicidad en la secuencia de cultivos de la rotación, lo cual está relacionado en gran medida a la ocurrencia de lluvias entre la aplicación y siembra del próximo cultivo y a la especie sembrada (Istilar, 2002; Casafe, 2009).

Por lo expuesto, el objetivo del presente trabajo fue estudiar el efecto de la residualidad post-cosecha de imazapir aplicado en un cultivo de girasol *Clearfield* sobre algunos cultivos de invierno (trigo, colza) y de verano (girasol y maíz no *Clearfield*, y papa), sembrados en

el ciclo siguiente a campo y mediante el desarrollo de un bioensayo en cámara de crecimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en un suelo franco arcilloso (materia orgánica 4.7%, arcilla 29.6%, limo 41.3%, arena 29.2 % y pH 5.7) de Balcarce, Pcia. de Buenos Aires, Argentina, 37°45'S, 58°18'O. El experimento se estableció bajo un diseño en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. El 25 de noviembre de 2002 se realizó la siembra de girasol *Clearfield*, con sistema de siembra convencional. Los tratamientos consistieron en la aplicación de imazapir, Arsenal, BASF Argentina, formulación comercial de Concentrado Soluble (SL) al 25% de ingrediente, en dosis simple y doble (80 y 160 g ia/ ha), incluyendo un testigo sin tratar. Los tratamientos se aplicaron el 20 de diciembre de 2002 cuando el girasol presentaba 4 hojas desarrolladas (V4), utilizando una mochila manual de presión constante (38 lb/pulg²), a base de CO₂ provista de pastillas Teejet 110015 VS tipo abanico plano desuniforme que arrojó un volumen de 162 litros/ha. A continuación de la cosecha del girasol (marzo de 2003), se realizaron un bioensayo en cámara de crecimiento y un ensayo a campo.

1. Bioensayo en cámara de crecimiento

Luego de la aplicación de los tratamientos (dosis normal, dosis doble y testigo), se realizaron muestreos del suelo previamente caracterizado, a los 104, 138, 168, 207, 235, 266 y 298 días desde la aplicación del herbicida (DDA), incluyendo los tres tratamientos. Las condiciones climáticas desde la aplicación y durante la extracción de las muestras se presentan en la figura 1.

Los muestreos se efectuaron con muestreador de suelo, a 12 cm de profundidad, realizándose 15 repiques por parcela. Las muestras se condujeron a freezer hasta su procesamiento. Al finalizar, los muestreos se descongelaron y se tamizaron con tamiz de 0.5 cm de malla. El suelo se ubicó en vasos de plástico (cantidad equivalente a aproximadamente 200 g de suelo seco) y en noviembre de 2003, se realizó la siembra de girasol "Morgan MG 50", maíz, "Asgrow 160 MG" (Bt), trigo "Baguette 10" y colza "Eclipse", disponiéndose 2, 2, 3 y 5 semillas respectivamente. Los vasos se condujeron a cámara de crecimiento bajo condiciones controladas de temperatura (20°C noche y 25°C día), humedad (50%) y luz (fotoperíodo 14 h) y se realizó riego superficialmente manteniendo el suelo a 80% de capacidad de campo. Cuando las plantas alcanzaron un estado de crecimiento establecido (tabla 1) se realizaron determinaciones de altura y peso seco de la parte aérea de las mismas. Para la determinación del peso seco, previamente se cortaron las plantas y se condujeron a estufa a 60°C durante 72 horas.

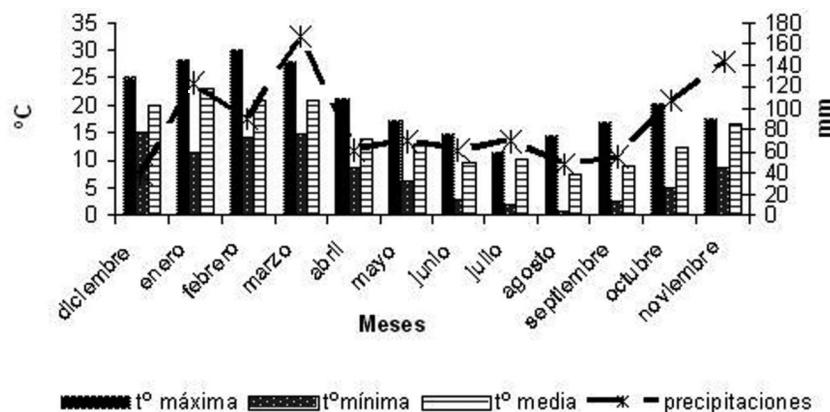


Figura 1. Precipitaciones, temperaturas máxima, media y mínima durante el período aplicación-extracción de muestras (Información agrometeorológica correspondiente a la base de datos diarios de precipitaciones, temperatura máxima, mínima y media de la EEA INTA Balcarce).

Especie	Estado de crecimiento	Medición de altura
Girasol	1er par hojas verdaderas (V ₁)	Desde la superficie del suelo hasta el meristema
Maíz	1era hoja puntiaguda (V ₁)	Desde la superficie del suelo hasta la lígula de la 1era hoja puntiaguda
Trigo	2 hojas (Zadoks,12)	Desde la superficie del suelo hasta la lígula de la 2da hoja
Colza	3 hojas(V3)	Desde la superficie del suelo hasta el meristema

Tabla 1. Estado de crecimiento para la determinación de la altura y el corte de las plantas de girasol, maíz, trigo y colza.

Los datos se analizaron a través de un análisis de la varianza, mediante el programa SAS, considerándose un diseño en bloques completos al azar en parcelas divididas y 4 repeticiones. La parcela principal correspondió al factor tratamiento con tres niveles: dosis normal, doble y testigo. En la subparcela se consideraron las fechas correspondientes a los DDA. Para cada cultivo se analizó la interacción entre los tratamientos y los DDA. En los casos en que no existió interacción se analizaron los efectos principales de los tratamientos y de los DDA. Las comparaciones entre medias se realizaron en base a Mínima Diferencia Significativa (MDS) al 5%.

2. Ensayo a campo

En el mismo lote referido al comienzo, se realizó la siembra de maíz y girasol no *Clearfield* y papa. Las fechas

de siembra y cultivares se muestran en la tabla 2. En pre-emergencia de los cultivos se aplicaron herbicidas a fin de evitar que la competencia de las malezas enmascarara los posibles efectos de los residuos de imazapir en el suelo. Los herbicidas y dosis aplicadas fueron: 1) girasol: acetoclor + flurocloridona (1.08 + 0.3 kg i.a./ha), 2) maíz: acetoclor + atrazina (2.25 + 1.25 kg i.a./ha), 3) papa: s-metolaclo + metribuzin (0.96 + 0.72 kg i.a./ha).

Se realizaron observaciones de fitotoxicidad hasta la cosecha y posteriormente se determinó el número de plantas y de espigas, rendimiento y humedad en maíz; número de plantas, rendimiento y humedad en girasol y peso de papa semilla (< 60 gr), recibo (> 60g) y total, en el cultivo de papa. Para el análisis de los datos se realizó un análisis de la varianza y se efectuó la comparación entre medias en base a MDS al 5% en cada cultivo y para cada una de las variables evaluadas.

Cultivo	Cultivar/Varietalidad	Fecha de siembra	Fecha de cosecha
Girasol	Morgan MG 50	30 de octubre de 2003	23/03/2004
Maíz	Asgrow 160 MG	23 de octubre de 2003	20/05/2004
Papa	Kennebec e Innovator	06 de noviembre de 2003	17/03/2004

Tabla 2. Cultivos, cultivares, fecha de siembra y cosecha del ensayo a campo.

RESULTADOS

1. Bioensayo

1.1 Colza

Para la variable altura relativa, la interacción entre las dosis y los DDA no resultó significativa ($p=0.111$). Tampoco se detectaron efectos de los tratamientos, mientras que sí se obtuvieron diferencias altamente significativas entre los DDA ($p<0.001$). Independientemente de la dosis, la altura se redujo hasta los 138 DDA (33-37% con respecto al testigo). A los 168 DDA y en los muestreos subsiguientes se alcanzaron valores cercanos al 100% del testigo (figura 2). En el caso del peso seco relativo, se detectó interacción significativa entre los tratamientos y los DDA ($p=0.048$). Para ambas dosis se encontraron diferencias significativas entre los DDA, observándose una reducción hasta los 207 DDA en la dosis normal y hasta los 138 DDA en la dosis doble. Sólo a los 168 DDA se hallaron diferencias significativas entre dosis para la variable peso seco relativo, observándose que la dosis doble alcanzó valores superiores a la dosis normal (figura 3).

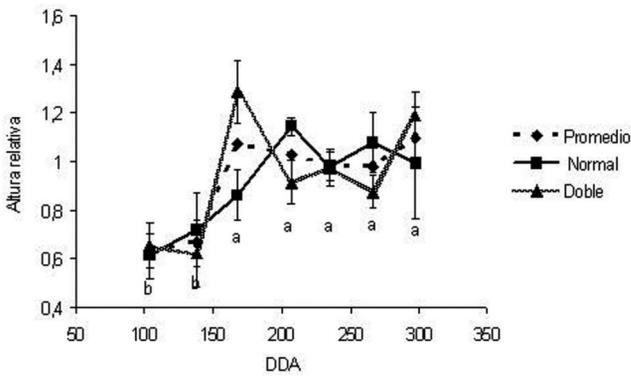


Figura 2. Evolución de la altura relativa (promedio +/- error estándar) de colza sembrada en suelo tratado previamente con dosis normal y doble de imazapir.

1.2. Girasol

Considerando la altura relativa, no se encontró interacción significativa entre los tratamientos y los DDA ($p=0.274$), como así tampoco se detectaron efectos de los tratamientos ni de los DDA ($p=0.898$). En todas las fechas de muestreo, los valores fueron muy cercanos al 100% del testigo (figura 4).

El análisis para el peso seco relativo, indicó interacción significativa entre los tratamientos y los DDA ($p=0,018$). Se observó mayor reducción del peso seco con la dosis doble hasta los 138 DDA, respecto de la dosis normal. La dosis doble no registró diferencias significativas entre los DDA, mientras que en la dosis normal se encontraron diferencias entre las fechas de muestreo, observándose valores superiores al 100% del testigo hasta los 138 DDA y luego una tendencia a estabilizarse entre el 90 y 100% del testigo (figura 5).

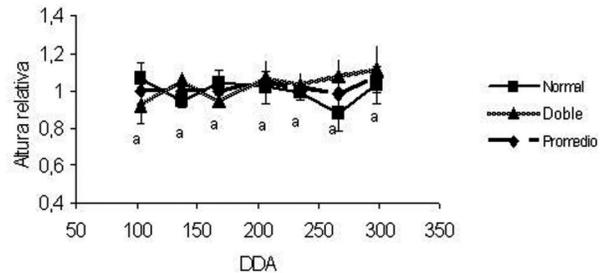


Figura 4. Evolución de la altura relativa (promedio +/- error estándar) de girasol sembrado en suelo tratado previamente con dosis normal y doble de imazapir.

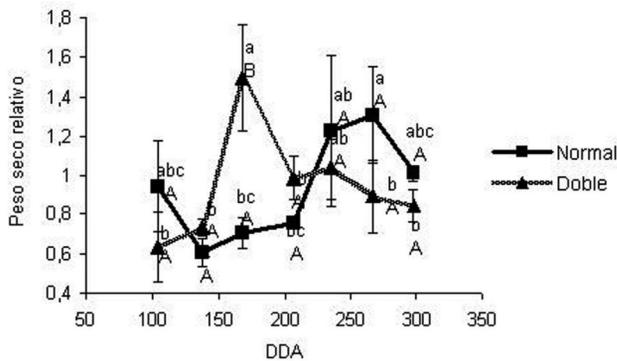


Figura 3. Evolución del peso seco relativo (promedio +/- error estándar) de colza sembrada en suelo tratado previamente con dosis normal y doble de imazapir. Dentro de cada dosis letras minúsculas iguales indican diferencias no significativas (MDS, $P>0.05$). Dentro de cada fecha de muestreo letras mayúsculas iguales indican diferencias no significativas (MDS, $P>0.05$).

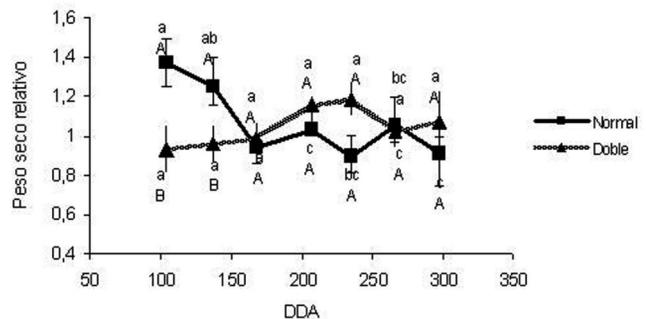


Figura 5. Evolución del peso seco relativo (promedio +/- error estándar) de girasol sembrado en suelo tratado previamente con dosis normal y doble de imazapir. Dentro de cada dosis letras minúsculas iguales indican diferencias no significativas (MDS, $P>0.05$). Dentro de cada fecha de muestreo letras mayúsculas iguales indican diferencias no significativas (MDS, $P>0.05$).

1.3. Maíz

No se detectó interacción entre los tratamientos y los DDA para la altura relativa ($p=0,961$) ni para el peso seco relativo ($p=0,274$). Tampoco se detectó efecto de los tratamientos ni de los DDA ($p=0,660$), registrándose en todas las fechas de muestreo valores próximos al 100% del testigo (figuras 6 y 7).

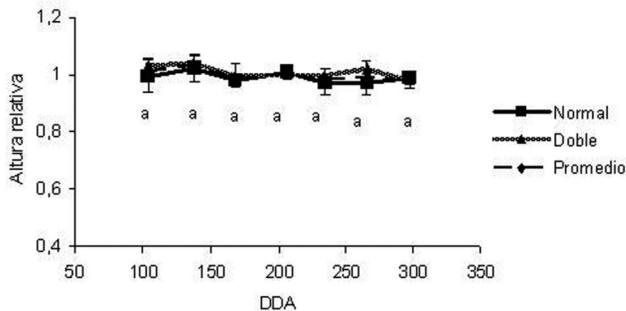


Figura 6. Evolución de la altura relativa (promedio +/- error estándar) de maíz sembrado en suelo tratado con dosis normal y doble de imazapir.

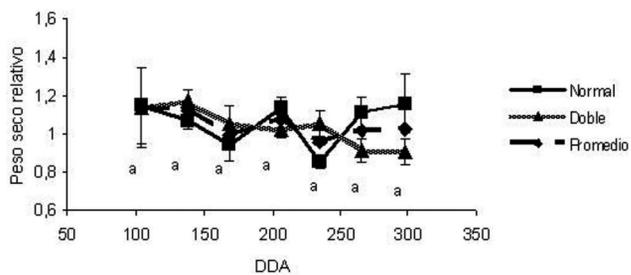


Figura 7. Evolución del peso relativo (promedio +/- error estándar) de maíz sembrado en suelo tratado con dosis normal y doble de imazapir.

1.4. Trigo

Para la altura relativa se halló interacción significativa entre los tratamientos y los DDA ($p=0,001$). En ambas dosis se registró una reducción por un periodo de 266 DDA en la dosis normal y de 138 DDA en la dosis doble. Se observó mayor reducción inicial de la altura con la dosis doble hasta los 168 DDA con respecto a la dosis normal (figura 8). Respecto al peso seco relativo no se detectó interacción significativa entre los tratamientos y los DDA ($p=0,904$). No se comprobó efecto de los tratamientos, mientras que sí se encontró efecto de los DDA ($p=0,059$). En ambos tratamientos se observó una reducción en el peso seco del orden del 25 y 53% con respecto al testigo hasta los 138 DDA. En las fechas siguientes, el peso seco relativo se vio incrementado significativamente, sin embargo, en ninguna de ellas se lograron alcanzar valores equivalentes al 100% del testigo (figura 9).

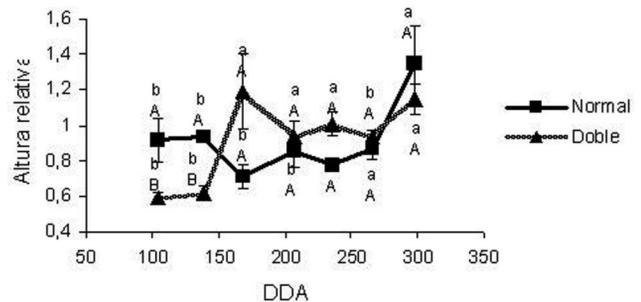


Figura 8. Evolución de la altura relativa (promedio +/- error estándar) de trigo sembrado en suelo tratado previamente con dosis normal y doble de imazapir. Dentro de cada dosis letras minúsculas iguales indican diferencias no significativas (MDS, $P>0,05$). Dentro de cada fecha de muestreo letras mayúsculas iguales indican diferencias no significativas (MDS, $P>0,05$).

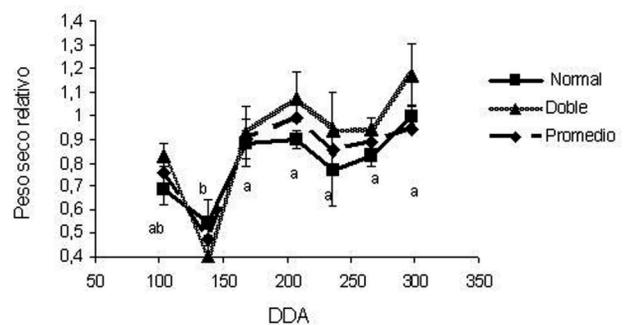


Figura 9. Evolución del peso relativo (promedio +/- error estándar) de trigo sembrado en suelo tratado con dosis normal y doble de imazapir.

2. Experimentos a campo

No se observaron efectos fitotóxicos de imazapir sobre los cultivos a lo largo de su ciclo. Coincidentemente, el rendimiento de los cultivos no fue afectado por ninguna de las dosis evaluadas ($p > 0,05$), indicando que no existieron efectos residuales del herbicida sobre estos cultivos. En cuanto a las restantes variables analizadas, tampoco se registraron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los tratamientos químicos y el testigo, excepto en la variedad de papa Kennebec en la cual se hallaron diferencias significativas en las tres variables evaluadas debido a que las parcelas tratadas superaron al testigo. En la tabla 3 se presentan los valores medios obtenidos para las variables evaluadas en Girasol y Maíz y en la tabla 4, el rendimiento promedio de semilla, recibo y total en papa variedades Innovator y Kennebec.

Tratamiento	Girasol		Maíz		
	Número de plantas (N°/ha)	Rendimiento (Kg/ha)	Número de plantas (N.°/ha)	Número de espigas (N.°/ha)	Rendimiento (Kg/ha)
Testigo	66861 a	2143 a	73052 a	69264 a	7550 a
Dosis normal	68961 a	2438 a	71429 a	70454 a	8716 a
Dosis doble	57143 a	2511 a	72728 a	69805 a	9073 a

Letras iguales indican diferencias no significativas (MDS, $p > 0.05$)

Tabla 3. Valores medios obtenidos para las variables evaluadas en Girasol y Maíz.

Tratamiento	Variedad Innovator			Variedad Kennebec		
	Semilla	Recibo	Total	Semilla	Recibo	Total
Testigo	1671 a	15953 a	17625 a	976 b	20757 b	21734 b
Dosis normal	1742 a	18031 a	19773 a	1726 a	23460 ab	25188 a
Dosis doble	1812 a	19289 a	21102 a	1093 a	26179 a	27273 a

Letras iguales indican diferencias no significativas (MDS, $p > 0.05$)

Tabla 4. Rendimiento promedio de semilla, recibo y total en papa variedades Innovator y Kennebec (Kg/ha).

DISCUSIÓN

Los períodos de residualidad oscilaron entre 138 y 266 DDA para trigo y desde 138 hasta 207 DDA para colza, mientras que en girasol y maíz no se detectó efecto residual. Estos datos demuestran que el trigo fue la especie más sensible, seguido por la colza y ubicándose en último lugar el girasol y el maíz. Ulbrich, Souza y Shaner (2005), determinaron que el maíz fue más sensible que el trigo, mientras que Alister y Kogan (2004) reportaron una situación inversa, manifestando que el maíz fue el cultivo más tolerante a imazapir. Los valores de residualidad determinados en este trabajo son muy superiores a lo encontrado por Ulbrich *et al.*, (2005) en trigo, quienes obtuvieron un período de 91 y 97 días en un ensayo a campo.

Para girasol y maíz no se encontraron reducciones en el crecimiento en ninguna de las fechas de muestreo, y tampoco se obtuvieron variaciones entre dosis. Estos resultados concuerdan con lo señalado por Alister y Kogan (2004), si bien Bovey y Senseman (1998) encontraron que en maíz, imazapir fue fitotóxico doce meses después de su aplicación.

Larina *et al.*, (2004) demostraron que la persistencia depende del contenido de materia orgánica, pH y de las condiciones hidrotermales. Varios investigadores (Wehtje *et al.*, 1987; Mangels, 1991; Tu *et al.*, 2004) determinaron que la adsorción se incrementa con un elevado contenido de materia orgánica en el suelo y cuando el pH decrece. En el presente trabajo, los valores de materia orgánica

relativamente elevada (4.7%) y de pH relativamente bajo (5.7), explicarían los períodos de persistencia menos prolongados determinados. Sin embargo, Ulbrich *et al.* (2005) establecieron mayor vida media en un suelo con mayor contenido de arcilla y pH más bajo y El Azzouzi *et al.*, (1998) al considerar un suelo laterítico y un suelo orgánico reportaron mayor persistencia en éste último.

En el presente trabajo la aplicación de imazapir se realizó en época estival. Por este motivo, se esperarían mayores tasas de degradación y por ende períodos residuales más cortos por la ocurrencia de mayores temperaturas en comparación a los períodos determinados previamente por otros autores.

Otro factor a considerar son las precipitaciones, ya que un déficit hídrico no permitiría obtener apropiadas condiciones en el suelo para la degradación microbiana (Alister y Kogan, 2004). Para los cultivos de trigo y colza, las precipitaciones tuvieron gran importancia en definir la residualidad, siendo necesarios entre 484,6 y 732,4 mm para trigo y 484,6 y 635,2 mm para colza. Por tal motivo, las condiciones climáticas post-aplicación serían trascendentes incrementando los períodos de residualidad en las especies sensibles como trigo y colza, mientras que el maíz y el girasol no tolerantes no se vieron afectados, siendo las precipitaciones acumuladas al momento del primer muestreo de 423,3 mm.

Por otra parte, la residualidad puede variar con la dosis de aplicación. No obstante, Wang *et al.*, (2005) demostraron que el aumento de la dosis no incrementaba la persistencia, en concordancia con Alister y Kogan (2004) y coincidentemente con este ensayo, donde los cultivos más sensibles (trigo y colza) fueron más afectados por la dosis normal en comparación con la doble.

Un aspecto a considerar, es que en este trabajo se evaluaron los primeros 12 cm de profundidad del suelo, por lo que los resultados podrían diferir si se tuviera en cuenta un perfil más profundo. En tal sentido, Mc Dowell *et al.*, (1997) encontraron residuos a 25 cm de profundidad después de 3 meses desde la aplicación. Tal situación podría ser riesgosa si se considera que las raíces de cultivos sensibles podrían alcanzar capas subsuperficiales con presencia de residuos de imazapir como producto del proceso de lixiviación.

En los cultivos sembrados a campo los rendimientos de las parcelas aplicadas previamente con imazapir fueron superiores al testigo, indicando que no existieron efectos residuales del herbicida. Asimismo, ninguna de las variables analizadas en cada cultivo mostró efectos negativos. Estos resultados concuerdan con lo observado por Alister y Kogan (2004) en maíz, careciéndose de antecedentes con respecto a los restantes cultivos. Las precipitaciones acumuladas desde la aplicación del herbicida hasta la siembra de los cultivos oscilaron entre 883 y 893 mm. De esta forma se podría inferir que las condiciones climáticas habrían sido favorables para la degradación del herbicida en el suelo y que sería factible la siembra de estos cultivos al año siguiente de la aplicación de imazapir bajo las condiciones de este experimento.

CONCLUSIONES

La persistencia fitotóxica de imazapir varió según el cultivo, dosis empleada y variable analizada. En el bioensayo, los períodos de residualidad siguieron el orden trigo > colza > girasol = maíz. No existió efecto de la dosis sobre el girasol y maíz, mientras que en trigo y colza se observaron algunas diferencias de sensibilidad entre la dosis normal y la doble dependiendo de la variable evaluada y el momento de muestreo. Luego de la aplicación de imazapir sobre girasol tolerante, el trigo requirió un período mínimo de aplicación-siembra de entre 5 y 9 meses y de 500 a 730 mm de lluvias distribuidos durante el período y la colza de 5 a 7 meses y de 500 a 635 mm de precipitaciones. El girasol y maíz no *Clearfield* no presentaron período de residualidad alguno. En el ensayo a campo, el girasol y maíz no tolerantes a imidazolinonas, así como la papa, no fueron afectados por la presencia de residuos de imazapir en el suelo. Sería recomendable que los futuros estudios que aborden esta problemática, tengan en cuenta la posible presencia de residuos de imazapir en las capas de suelo subsuperficiales, lo cual permitiría determinar efectos fitotóxicos que podrían producirse en etapas avanzadas de los cultivos.

BIBLIOGRAFÍA

ALISTER, C. and KOGAN, M. 2004. Efficacy of imidazolinone herbicides to imidazolinone-resistant maize and their carryover effect on rotational crops. *Crop protection*. 24 (4): 375-379.

ASHTON, F.M. and MONACO, T. 1991. *Weed science. Principles and Practices*. 3º ed. A Wiley-interscience

publication. John Wiley & Sons, inc. New York. Chichester. Brisbane. Toronto. Singapore. 466 p.

BOVEY, R.W. and SENSEMAN, S.A. 1998. Response of food and forage crops to soil - applied imazapyr. *Weed science*. 46: 614-617.

CASAFE, 2009. Guía de Productos Fitosanitarios para la República Argentina. Cámara de sanidad agropecuaria y fertilizantes. 12° ed. 1600 p.

COMFORT, S.D.; SHEA, P.J.; ROETH, F.W. 1994. Understanding pesticides and water quality in Nebraska. Nebraska Co-operative Extension EC 94-135, USA. 16p.

EL AZZOUZI, M., DACHOUR, A., BOUHAOUSS, A. and FERHAT, M. 1998. Study on the behaviour of imazapyr in two Moroccan soils. *Weed Research*. 38: 217-220.

HAGER, A., SPRAGUE, C. and MC GLAMERY, M. 2000. Factors affecting herbicide persistence. *Agricultural pest management handbook*. Illinois. 323-326.

HANCE, R.J. and HOLLY, K. 1990. *Weed control handbook principles*. 8° ed. Blackwell scientific publications. Oxford London Edinburgh. Boston Melbourne. 582 p.

Información agrometeorológica. Base de datos diarios de precipitaciones, temperatura máxima, mínima y media. INTA Balcarce, Argentina (<http://www.intabalcarce.org/>). Verificado: 07/08/2010).

ISTILART, 2002. Residualidad de imidazolinonas sobre cereales de invierno. INTA, Argentina (<http://www.inta.gov.ar>). Verificado: 04/08/2010).

LARINA, G.E. and SPIRIDOV, Y.Y. 2004. The effect of physicochemical properties and the hidrothermal regime

of soil on the detoxification of imidazolinone herbicide. Russia research Institute of phytopathology, Russian Academy of Agricultural Sciences.

MANGELS, G. 1991. Behaviour of the imidazolinone herbicides in soil-a review of the literature. In: Shaner, D.L. and O'Conner, S.L. eds. *The Imidazolinone Herbicides*. Boca Raton, FL: CRC press. pp. 191-209.

MC DOWELL, R.W., CONDRON, L.M., MAIN, B.E. and DASTGHEIB, F. 1997. Dissipation of imazapyr, flumetsulam and thifensulfuron in soil. *Weed Research*. 37: 381-389.

TU, H. 2004. *Weed Control Methods Handbook*, the Nature Conservancy. (<http://tncweeds.ucdavis.edu>). Verificado: 11/07/2010).

ULBRICH, A.V., SOUZA, R. and SHANER, D.L. 2005. Persistence and carryover effect of imazapyr and imazapyr in Brazilian cropping systems. *Weed Technology*. 19 (4): 986-991.

VENCILL, W.K. 2002. *Herbicide Handbook*. WSSA. Weed Science Society of America Champaign. Illinois. 493p. 8.° ed. USA, Lauvience.

WANG, X., WANG, H. and FAN, D. 2005. Persistence and metabolismo of imazapyr in four typical soils of Zhejiang Province (China). *Internacional Journal of Environmental and Analitical chemistry*. Taylor & Francis. 85(2): 99-109.

WEHTJE, G., DICKENS, R., WILCUT, J.W. and HAJEK, B.F. 1987. Sorption and mobility of sulfometuron and imazapyr in five Alabama soils. *Weed science*. 35: 858-864.